

$$\hat{v}_1 = \hat{v}_1^0 \exp\left[\int_{t_0}^t (\beta_1) \beta_1^* dt'\right] + \frac{1}{\rho(d+\frac{6}{5}a)} \cdot \int_{t_0}^t \exp\left[\int_{t_0}^{t'} \beta^* dt''\right] \hat{p}(C_1^{(+)} + C_1^{(-)}) dt' \quad (31)$$

при $\beta = \frac{d}{d+14/5a} \left[2 \frac{a}{d} R + (\beta_1) \hat{v}_{11} \right]$ и начальном условии $|\hat{v}_1|_{t=t_0} = \hat{v}_1^0$.

Таким образом, зная скорость воздушных масс, движение которых обусловлено наличием разности температур окружающей среды и внутри помещения, а также действием ветра через неплотности наружных ограждений, несложно определить интенсивность воздухообмена в пространстве исследуемого здания.

1.Piotrowski J.Z., Dzieniszewski W., Faryniak L. (1999). Air Infiltration through Elements of Building Partition. Grant Project 7 TO7 E01609. Kielce-Warszawa.

2.Piotrowski J.Z. (2000). Generalized Functional Form of Air Flow for Microclimate Calculations. KILiW PAN. Wrocław – Warszawa, Vol. 3, pp. 139 - 146.

Получено 04.02.2003

УДК 542.48

В.Г.ПАВЛОВА

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПЛЕНОЧНОМ ТЕЧЕНИИ ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТНОЙ СУСПЕНЗИИ В ВЫПАРНЫХ АППАРАТАХ

Исследуется теплообмен при пленочном течении трехфазной жидкостной суспензии с переменным содержанием фаз. Рассматриваются вопросы парообразования и кристаллизации. Обосновывается использование пленочных выпарных аппаратов со стекающей пленкой для кристаллизующихся растворов, используемых при опреснении сточных вод, производстве каустической соды, шелоков и др.

В различных отраслях промышленности нашли широкое применение процессы упаривания растворов, которые являются неотъемлемой частью технологических процессов (например, при опреснении сточных вод, производстве каустической соды, шелоков и др.). Большинство упариваемых растворов, применяемых в производстве, содержат соли, кристаллизующиеся в процессе выпаривания. Для таких растворов, как правило, применяют выпарные аппараты с вынесенной зоной кипения. Применение пленочных выпарных аппаратов со стекающей пленкой в таких случаях не рекомендуется из-за инкрустации поверхностей теплообмена, которая приводит к ухудшению теплопередачи и забиванию проходного сечения труб. Однако ряд преимуществ пленочных выпарных аппаратов, таких как высокая эффективность, малые габариты и металлоемкость, малое время контакта

с поверхностью теплообмена и др. вызывают необходимость поиска методов и возможностей, расширяющих область использования пленочных выпарных аппаратов и позволяющих применять их к кристаллизующимся суспензиям, что является важной научно-технической задачей.

Анализируя существующую литературу по данному вопросу, можно сказать, что разработок по пленочному течению кристаллизующихся растворов, учитывающих особенности течения трехфазовых жидкостей, кристаллизационных процессов применительно к пленочным выпарным аппаратам, нет. В связи с этим представляет теоретический и практический интерес исследование процессов теплообмена в пленке суспензии, факторов, определяющих этот процесс, а также рассмотрение влияния твердой фазы на теплообменные процессы при пленочном течении.

Целью работы является исследование возможности применения пленочных аппаратов для кристаллизующихся растворов и создание расчетных зависимостей, позволяющих решать инженерно-конструкторские задачи.

Известно, что теплоотдача в стекающей пленке значительно выше, чем теплоотдача в большом объеме. Сравнительная оценка была сделана Мак-Адамсом [1]. Так как толщина пленки δ всегда меньше диаметра трубки d , то коэффициент теплоотдачи при пленочном течении $\alpha_{пл}$ всегда больше, чем в объеме $\alpha_{тр}$. Это утверждение подтверждено работами Бейтса:

$$\frac{\alpha_{пл}}{\alpha_{тр}} = \frac{d^2}{4\delta(d - \delta)}. \quad (1)$$

Для решения поставленной задачи рассматривали теплообмен в пленке трехфазной жидкостной суспензии с переменным содержанием фаз [4, 5]. При этом исходили из следующего. Рассматриваемая суспензия состоит из жидкой, твердой и паровой фаз. Жидкая фаза – это многокомпонентная система, состоящая из растворителя, кристаллизующегося и некристаллизующегося компонентов. Испарившийся растворитель удаляется в толщу парового потока. Основная масса твердой фазы кристаллизуется на внесенной затравке твердой фазы. Движения пара и пленки совпадают. Толщина стекающей пленки больше самой крупной частицы, но меньше ее длины и меньше диаметра трубы. Последнее дает возможность рассматривать протекающие процессы в двухмерной системе координат. Малая толщина пленки и турбулентность приводят также к допущению постоянства значе-

ний концентрации и температуры в поперечном сечении, а изменение рассматривается по нормали к поперечному сечению – оси u , совпадающей с движением пленки.

При исследовании процесса теплообмена в стекающей пленке жидкости была построена модель пленочного течения трехфазной жидкостной суспензии с переменным содержанием фаз. В зависимости от тепловой нагрузки рассматривали два вида парообразования:

1. При малых тепловых нагрузках (q до 3 кВт) – испарение идет с поверхности пленки, пузырьки образуются на внешней границе «жидкость – пар»; растворитель с внешней границы удаляется в толщу потока. Теплоотдача определяется гидродинамикой жидкости в пленке, действует конвективный механизм переноса тепла.

2. С увеличением теплового потока начинается образование пузырьков пара на поверхности теплообмена. Процесс переноса тепла определяется процессом парообразования, скоростью образования, роста и движения пузырька пара в пленке. Таким образом, процесс теплообмена определяется процессами парообразования.

В небольшом объеме жидкости вследствие флуктуаций плотности образуются мелкие включения паровой фазы. Образование паровой фазы имеет вероятностный характер. При этом часть пузырьков обладают малыми размерами, они не жизнеспособны и исчезают. Пузырьки, размеры которых больше критического зародыша, растут и, достигая отрывного размера, отрываются и всплывают с частотой, зависящей от теплового потока. Место оторвавшегося пузырька занимает новый. Таким образом идет парообразование на поверхности теплообмена. Всплывающие и отрывающиеся паровые пузырьки турбулизируют пленку жидкости, увеличивая интенсивность теплообменных процессов в пленке жидкости.

Наличие твердой фазы изменяет картину кипения и парообразования по сравнению с чистым потоком [3]. Как и в случае парообразования кристаллообразование подчиняется законам Гиббса и имеет вероятностный характер. При возникновении кристалла в пересыщенной жидкости затрачивается энергия на образование поверхности раздела фаз. Если размер кристалла меньше критического, то энергетически будет выгодным его разрушение. При размерах кристаллика больше критического выгоден рост кристалла. Если в суспензии существует примесь (песок, мел или готовые кристаллики), то энергетически выгоднее будет протекание кристаллизации на поверхности примеси, что дает возможность оттянуть основную массу кристаллизации и накипобразования с теплообменных поверхностей. Твердая фаза, совершая

хаотическое движение, турбулизирует пленку суспензии, тем самым приводит к интенсификации теплообмена.

Большое влияние на теплообмен оказывает пристеночный слой, ухудшая условия теплообмена [2]. Разрушение пристеночного пограничного слоя приводит к повышению интенсивности процесса теплообмена. В рассматриваемом случае разрушение пристеночного слоя идет, с одной стороны, за счет образования, отрыва и всплытия паровой фазы, а с другой – совершая хаотическое движение, твердая фаза, попадая в область влияния пристеночного пограничного слоя, турбулизирует его и частично разрушает. Твердая фаза, двигаясь вдоль поверхности теплообмена, вызывает отрыв и всплытие паровой фазы.

Учитывая вышесказанное, построили модель пленочного течения трехфазной суспензии с переменным содержанием фаз. Сложности процесса теплообмена как физического, так и математического характера обуславливают исключительную сложность задачи, затрудняют корректный и полный ее анализ и аналитическое решение, приводят к необходимости принятия упрощенных моделей, позволяющих получить практическое решение задачи. В таких случаях, когда приведенная система описания процессов теплообмена не позволяет получить аналитическое решение, задача решается методом теории подобия или анализа размерностей. Решение системы уравнений методом анализа размерностей и обработка опытных данных привело к следующему уравнению:

$$Nu = c Re_{\text{ж}}^{0,35} Pr_{\text{ж}}^{0,4} We_{\text{п}}^{0,2} \left(\frac{v_{\text{тер}}}{\Delta t} \right)^{0,65} \left(\epsilon \beta_{\text{т}} \right). \quad (2)$$

Таким образом, на теплообмен в стекающей пленке влияют как процессы парообразования (интенсивность парообразования и движение паровой фазы), так и присутствие твердой фазы, которое меняет картину теплообмена. Она турбулизирует поток пленки, прорывает и турбулизирует пристеночный пограничный слой, влияет на процессы парообразования, отрыв, всплытие паровых пузырьков и тем самым повышает интенсивность теплообменных процессов в аппарате, увеличивает эффективность установки. Основные кристаллизационные процессы идут на поверхности готовой кристаллической фазы, снижая скорость инкрустации поверхностей нагрева, что дает возможность увеличить время беспромывочной работы аппарата и применять пленочные выпарные аппараты со стекающей пленкой для кристаллизирующихся растворов, и тем самым снизить капитальные и эксплуатационные затраты.

- 1.Мак-Адамс В.Х. Теплопередача. – М, 1961. – 362 с.
- 2.Кутателадзе С.С. Пристеночная турбулентность. – Новосибирск, 1973. – 228 с.
- 3.Фокин В.С., Кошельник В.М., Павлова В.Г. Математическая модель теплообмена при вынужденном движении жидкостных суспензий // Вестник ХГПУ. Вып. 13. – Харьков, 1998.
- 4.Фокин В.С., Павлова В.Г. Математическая модель переноса тепла при пленочном течении жидкостной суспензии // Вестник НТУ «ХПИ». Вып.9. Т.12. – Харьков, 2002.
- 5.Фокин В.С., Павлова В.Г. Основы переноса тепла при пленочном движении жидкостной суспензии // Вестник НТУ «ХПИ». Вып.6. – Харьков, 2002.

Получено 14.02.2003

УДК 628.334.2

А.А.ТКАЧ, канд. техн. наук, Т.О.МАТВИЄНКО
Кіровоградський державний технічний університет

ПРОБЛЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ СТИЧНИХ ВОД ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЇХ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ

Розглянуто способи регулювання проточної швидкості стічної рідини в піскоуловлювачах різних типів, дано оцінку їх ефективності. Запропоновано новий спосіб регулювання, який дає змогу розширити межі піскоуловлювання на малі витрати стічних вод.

Наша країна вважається найменш забезпеченою водними ресурсами в Європі. Однак, незважаючи на дефіцит води питної якості, у нас постійно зростають темпи водовикористання. Існуючі технології очистки води не можуть в повній мірі задовольнити вимоги щодо якості та собівартості очищеної води. У зв'язку з цим проблема ресурсозбереження у водопровідно-каналізаційному господарстві вимагає пошуку нових ефективних технологій очистки, які б були прості у виготовленні та експлуатації і не потребували великих затрат матеріалів і енергії.

Недосконалість багатьох очисних споруд призводить до негативної роботи очисної станції в цілому. В даному випадку це стосується механічного очищення, а саме піскоуловлювання.

Вміст піску в стічній воді спричиняє стирання рухомих частин механізмів, внаслідок чого значно скорочується термін їх експлуатації. Сирий осад з великим вмістом піску погано сповзає з нахилених стінок вертикальних відстійників і погано переміщується скребками радіальних та горизонтальних відстійників. Іноді скребки внаслідок перевантаження руйнуються. Розведення осаду водою покращує умови його транспортування, але це призводить до підвищення вологості та вартості обробки осаду. Великий вміст піску в осаді ускладнює транспортування його по трубах, а в ряді випадків викликає їх закупорюва-